

# Placement optimal de points d'accès dans les réseaux radio maillés<sup>†</sup>

Cristiana Gomes,<sup>‡</sup> Christelle Molle,<sup>§</sup> Patricio Reyes,<sup>¶</sup> Hervé Rivano

Projet MASCOTTE, I3S(CNRS-UNSA)/INRIA, 2004 route des lucioles - BP 93, 06902 Sophia Antipolis Cedex, France

---

Cet article présente un modèle linéaire permettant de placer un nombre minimum de points d'accès dans un réseau radio maillé (*Wireless Mesh Network*). Connaissant la topologie du réseau, le problème est de déterminer le nombre minimum de points d'accès reliés à Internet nécessaires pour que la demande de chaque routeur soit satisfaite.

Afin de prendre en compte les interférences spatiales dues à la technologie radio, le temps est découpé en intervalles réguliers au cours desquels un ensemble de liens n'interférant pas deux à deux est déterminé, ce qui engendre une limitation de la capacité des liens en fonction de leur activation dans le temps. Le placement se fait ensuite de manière à assurer à chaque nœud le débit désiré en régime permanent.

**Keywords:** réseaux radio maillés, interférences, routage, points d'accès, placement

---

## 1 Introduction

Les réseaux radio maillés (WMNs) connaissent une forte croissance due à leur faible coût d'installation et de déploiement [AW05]. Ils permettent de servir un grand nombre de clients mobiles répartis sur une surface potentiellement illimitée, et sont facilement extensibles avec une infrastructure plus légère que celle des réseaux cellulaires.

Un réseau radio maillé est une infrastructure fixe composée de routeurs sans fil interconnectés sur un ensemble de liens. Certains routeurs possèdent une fonctionnalité supplémentaire : ils sont reliés à un réseau de transport (filaire ou non) fournissant un accès à Internet. Contrairement aux réseaux ad-hoc, les communications d'un réseau maillé se font principalement à destination ou en provenance de ces routeurs spéciaux, appelés point d'accès (APs), permettant un échange de données sur des chemins à plusieurs sauts.

L'étude des performances des réseaux radio motive de nombreux travaux de recherche. Le déploiement de réseaux radio maillés en situations opérationnelles, notamment en milieu urbain, nécessite d'être capable de garantir une qualité de service minimale, d'autant plus que la capacité de ces réseaux est très contrainte. En effet, il a été démontré sous plusieurs hypothèses que les performances d'un réseau aléatoire se dégradent d'un facteur au moins  $O(1/\sqrt{n})$  à mesure que sa taille,  $n$ , augmente [GK00, DFTT04, MPR06]. Plusieurs modèles d'évaluation de cette capacité ont été développés pour estimer le comportement d'un réseau et confirmer les analyses stochastiques [RTV06, JPPQ03].

Dans un réseau maillé, chaque point d'accès collecte le trafic d'une partie du réseau, deux régions rattachées à des points d'accès suffisamment distants n'interférant entre elles qu'à la marge. L'influence du placement des points d'accès dans le réseau sur la capacité, ainsi que du routage concentrant le trafic vers eux, est donc majeure. Le compromis entre des zones de taille minimale et des frontières avec peu d'interférences est au cœur de l'optimisation de la qualité de service des réseaux maillés [CQJM04, ABIK06].

Le verrou combinatoire du placement d'APs se rapproche des problèmes de *facility location* [AST97] et de *k-center* (ou *p-median*) [HK79a, HK79b], tandis que le routage vient du flot mono-routé.

Dans la suite, nous développons un modèle d'optimisation mêlant l'ensemble de ces aspects afin d'obtenir le placement d'un nombre minimum de points d'accès assurant une certaine qualité de service.

---

<sup>†</sup> Ce travail a été partiellement financé par le projet IST-FET IP AEOLUS, l'ANR-JC OSERA et l'ARC CARMA

<sup>‡</sup> thèse CAPES

<sup>§</sup> thèse DGA

<sup>¶</sup> thèse Conycit/INRIA



Le problème consistant à optimiser le placement de points d'accès dans le réseau, la fonction objective (1) minimise leur nombre, tandis que les contraintes (2) à (6) modélisent leur placement et la nécessité d'un routage transportant les demandes des nœuds.

$$\min \sum_{i \in V_c} s_i, \quad (1)$$

$$\sum_{e \in E_v \cup E_u} a_e^t \leq 1, \quad \forall v \in V, u \in N_v, t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{v \in V} x_e^v \leq c_e \cdot \sum_{t \leq T} a_e^t / T, \quad \forall e \in E \quad (3)$$

$$\sum_{e=(u,v) \in E} x_e^r + \mathbb{1}_{\{v=r\}} d_v = \sum_{e=(v,u) \in E} x_e^r + y_{r,v}, \quad \forall r, v \in V \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V_c} y_{r,i} = d_r, \quad \forall r \in V \quad (5)$$

$$y_{r,i} \leq s_i \cdot C, \quad \forall i \in V_c, r \in V \quad (6)$$

Ainsi la contrainte (2) détermine un ordonnancement des communications dans l'intervalle de temps  $T$  prenant en compte les interférences radio.

La contrainte (3) exprime le débit disponible sur chaque arc selon son activité.

La conservation de flot est prise en compte par la contrainte (4). Dans cette dernière, plusieurs cas sont distingués. Soient  $r$  la source du flot considéré et  $v$  le nœud courant. Si  $r = v$ , alors il n'y a pas de flot  $x_r^e$  entrant en  $v$ , mais uniquement la demande  $d_v$  du routeur. Si  $v$  est sélectionné pour être un point d'accès, alors il peut satisfaire une quantité de flot provenant de  $r$ , à savoir  $y_{r,v}$ . Sinon,  $v$  possède uniquement la fonction de routeur, il transmet le flot reçu de  $r$ .

La contrainte (5) spécifie que toutes les demandes doivent être satisfaites par le placement obtenu.

Enfin la contrainte (6) exprime le fait que le flot absorbé par un routeur est nul si celui-ci n'est pas sélectionné pour être un point d'accès (i.e.  $s_i = 0$ ), et quelconque sinon,  $C$  étant une constante supérieure à la somme des demandes.

## 4 Résultats

Le programme linéaire a été implémenté dans Mascot <sup>||</sup>, et résolu par le logiciel Cplex d'Ilog. Nous présentons les résultats obtenus pour une topologie particulière : la grille  $3 \times 3$ . La complexité de notre formulation, qui possède un nombre important de contraintes et de variables binaires, rend sa résolution très difficile pour des réseaux de plus de 20 nœuds.

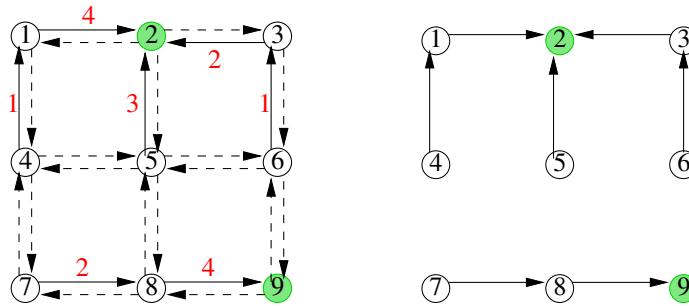


FIG. 2: Résultats pour la grille  $3 \times 3$  avec  $T = 4$  et  $d_v = 10, \forall v \in V$

<sup>||</sup> Mascotte Optimization <http://www-sop.inria.fr/mascotte/mascot>

La figure 2 montre l'ordonnancement des liens, le placement de point d'accès choisi ainsi que les routes obtenues sous les hypothèses  $V_c = V$ ,  $T = 4$  et  $d_v = 10$ .

Les expérimentations ont par ailleurs permis de mettre en lumière une propriété inattendue. En effet, contrairement à ce que l'intuition laisse supposer, le centre de la grille n'est pas optimal pour le positionnement d'un seul point d'accès. Lorsque les demandes sont telles qu'on atteint la limite de capacité du réseau pour un seul point d'accès, celui-ci est placé sur les bords de la grille. Une première réflexion théorique indique qu'il s'agit néanmoins d'un phénomène qui ne se produit que dans des cas extrêmes. Cela lève cependant des interrogations qui pourraient amener à des stratégies de décompositions du réseau efficaces.

Plus de détails sur les résultats obtenus sont disponibles à l'adresse  
<http://www-sop.inria.fr/mascotte/Christelle.Molle/APsPlacement.html>.

## 5 Conclusion et Perspectives

Le problème de placement d'un nombre minimum de points d'accès dans un réseau radio maillé est un problème dur à résoudre. Le multiplexage dans le temps permet une bonne modélisation des contraintes d'interférence radio, mais accroît significativement le nombre de variables binaires du programme. C'est pourquoi la formulation linéaire proposée permet d'obtenir des résultats pour des réseaux ayant un faible nombre de nœuds, mais les calculs deviennent vite longs pour des réseaux dépassant 20 sommets.

Les perspectives de travail sont maintenant d'utiliser des structures combinatoires plus complexes afin de minimiser le nombre de variables du programme linéaire, et utiliser des techniques d'approximation comme la génération de colonne pour obtenir des résultats satisfaisants. Une approche récursive du problème semble aussi pertinente puisque chaque point d'accès concentre le trafic d'une zone du réseau qui semble toujours devoir être connexe et même convexe.

## Références

- [ABIK06] B. Aoun, R. Boutaba, Y. Iraqi, and G. Kenward. Gateway placement optimization in wireless mesh networks with QoS constraints. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24(Issue 11) :2127–2136, November 2006.
- [AST97] K. Aardal, D.B. Shmoys, and E. Tardos. Approximation algorithms for facility location problems. In *29th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, pages 265–274, 1997.
- [AW05] I.F. Akyildiz and X. Wang. A survey on wireless mesh networks. *IEEE Radio Communications*, 43(9) :S23–S30, September 2005.
- [CQJM04] R. Chandra, L. Qiu, K. Jain, and M. Mahdian. Optimizing the placement of integration points in multi-hop wireless networks. In *IEEE ICNP*, Berlin, October 2004.
- [DFTT04] O. Dousse, M. Franceschetti, D. Tse, and P. Thiran. Closing the gap in the capacity of random wireless networks. In *IEEE ISIT 2004*. IEEE Computer Society, 2004.
- [GK00] P. Gupta and P.R. Kumar. The capacity of wireless networks. *IEEE Transactions on Information Theory*, 46(2) :388–404, March 2000.
- [HK79a] S.L. Hakimi and O. Kariv. An algorithmic approach to network location problems I : The p-centers. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 37(3) :513–538, December 1979.
- [HK79b] S.L. Hakimi and O. Kariv. An algorithmic approach to network location problems II : The p-medians. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 37(3) :539–560, December 1979.
- [JPPQ03] K. Jain, J. Padhye, V.N. Padmanabhan, and L. Qiu. Impact of interference on multi-hop wireless network performance. In *MobiCom'03*, pages 66–80, New York, NY, USA, 2003. ACM Press.
- [KMPS04] V.S. Anil Kumar, M.V. Marathe, S. Parthasarathy, and A. Srinivasan. End-to-end packet-scheduling in wireless ad-hoc networks. In *SODA '04*, pages 1021–1030, 2004.
- [MPR06] G. Méheut, S. Pérennes, and H. Rivano. Evaluation stochastique et simulation des réseaux radio. Research report 5989, INRIA, September 2006.
- [RTV06] H. Rivano, F. Théoleyre, and F. Valois. Capacity evaluation framework and validation of self-organized routing schemes. In *IEEE IWWAN 2006*, New-York, June 2006.